

### 2.5 Hafenausrüstung

#### Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Clasmeier**  
Niedersachsen Ports GmbH & Co.KG,  
Niederlassung Emden

#### Zusammenfassung

Der Hafen Emden ist der westlichste deutsche Hafen an der Nordseeküste. Er ist für Seeschiffe erreichbar über die Ems, die sich hier zum Dollart öffnet und die deutsch-niederländische Grenze bildet. Der Hafen teilt sich in den über Schleusen zugänglichen Binnenhafen (rd. 530 ha) und das unter Tideeinfluss stehende Becken des Außenhafens sowie die Hafenanlagen unmittelbar an der Ems (rd. 200 ha). Der innere Hafen hat eine große Bedeutung für die Produktion und den Umschlag von Bauelementen für die Windkraftindustrie und von Offshorebauteilen im Werftbereich der Nordseerwerke. Der Außenhafen ist mit einem Umschlag von mehr als 1,0 Mio. Kraftfahrzeugen das drittgrößte europäische Drehkreuz in der Autodistribution. Im Jahre 2008 betrug der Umschlag mehr als 7,0 Mio. Tonnen. Trotz der allgemeinen weltweiten Regression ist in 2009 die Umschlagmenge nur gering zurückgegangen

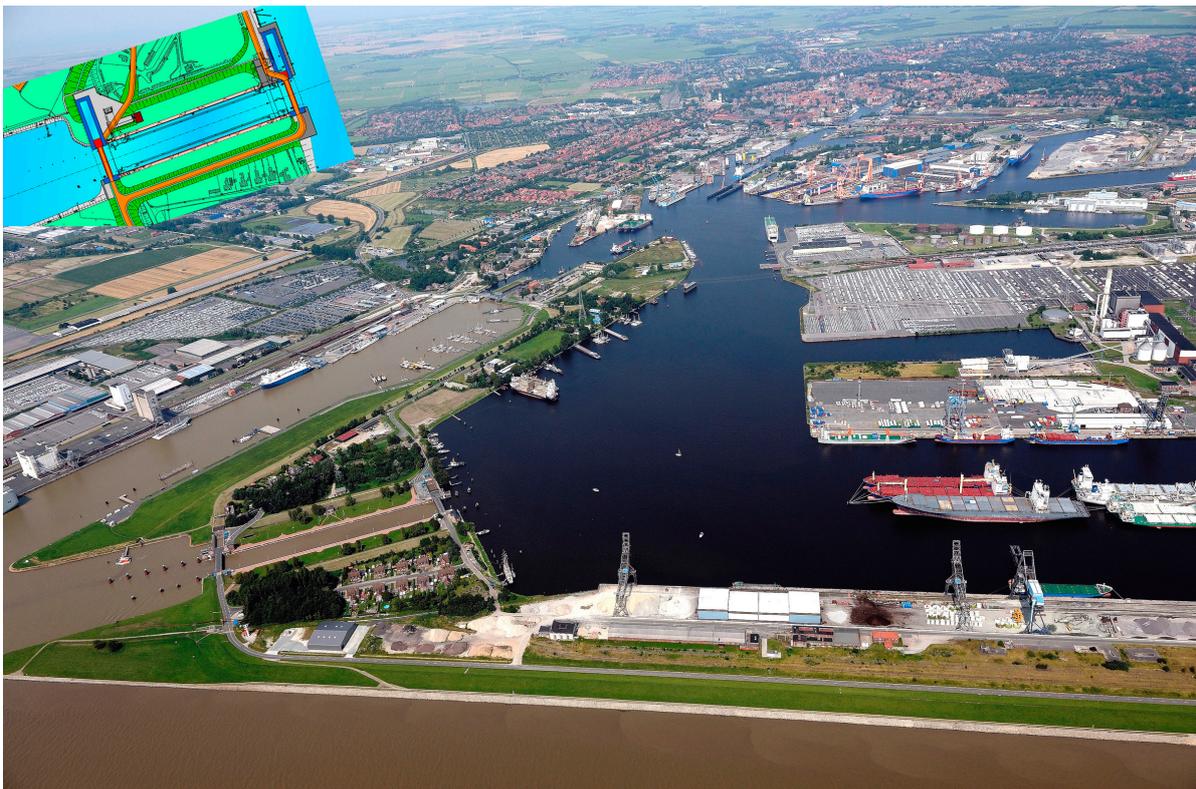
Die Entwicklung des modernen Seehafens Emden nahm ihren Ausgang im Jahre 1882 mit dem Neubau der "Nesserlander Schleuse" (Einfahrtbreite = 14,00 m; Nutzlänge = 110,00 m). Die Große Seeschleuse mit einer Einfahrtbreite von 40,00 m und einer Länge von 260,00 m zwischen den Schiebetoren nahm 1913 ihren

Betrieb auf und stellte damit den wichtigsten Zugang zum expandierenden Hafen dar. In Abhängigkeit von den leistungsfähigen Schleusen wurde der Hafen Emden der wichtigste Umschlagplatz für den Erzimport zu den Hütten des Ruhrgebiets sowie den Kohleexport von dort. Mit über 16,0 Mio. Tonnen erreichte der Hafen Emden in 1975 die bisher größte Umschlagmenge.

Immer größere Abmessungen der Massengutschiffe im Erz- und Kohletransport in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts machten jedoch den Hafen zunehmend unattraktiv. Wegen der begrenzten Fahrwassertiefe in der Ems mussten die Schiffe vor Borkum mit sehr viel Aufwand geleichtert werden. Dieses war Veranlassung für die Planung des Dollarthafens, der mittels einer rd. 15 km seewärts gelegenen neuen großen Schleuse die Zugänglichkeit für Schiffe bis 150.000 tdw sicherstellen sollte. Die Realisierung war in den Jahren 1991 bis 1998 vorgesehen. Die „Große Seeschleuse“ sollte dann außer Betrieb genommen und zurückgebaut werden.

Bereits 1980 wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe festgestellt, dass dank des baulichen Zustandes der "Großen Seeschleuse" noch ein Betrieb von 25 Jahren garantiert werden könnte, wenn kurzfristig ein umfangreiches Sanierungsprogramm umgesetzt würde. Umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Qualität des Mauerwerks und des Stampfbetons der Schleusenkommer- und Schleusenhauptwände, des Baugrundes, der Schleusentore und deren Führungselemente wurden vorgenommen. Die Einlaufkanäle und deren Verschlüsse wurden trockengelegt und deren Zustand erkundet.

Zwischenzeitlich wurde im Jahre 1990 das Dollarthafenprojekt aufgegeben, die „Große Seeschleuse“ musste folglich für den Hafen Emden erhalten bleiben. Das Sanierungsprogramm wurde in den Jahren zwischen



Hafen Emden; Masterplan der neuen Seeschleuse oben links

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

### Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden

1993 und 1997 mit einem Kostenaufwand von rd. 58 Mio. DM (rd. 30 Mio. €) realisiert. Neue Schleusentore wurden gebaut, die Torlaufschienen wurden mittels des Einsatzes von Druckluftarbeitskammern erneuert und die Schleusenammerwände aus vorgesetzten Süllkästen heraus umfangreich saniert.

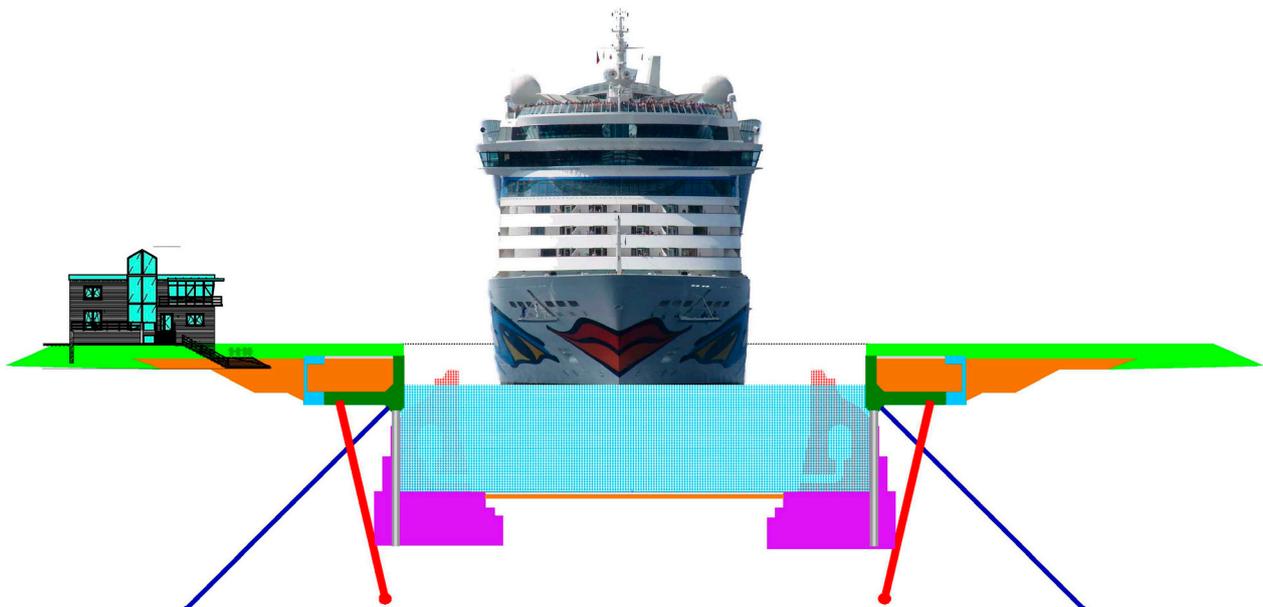
Nach nunmehr 15 Jahren Schleusenbetrieb im sanierten Zustand muss die Frage nach einem weiteren Sanierungs- oder Erneuerungskonzept gestellt werden. Eine komplett sanierte oder erneuerte Schleuse sollte spätestens im Jahre 2025 in Betrieb gehen. Verschiedene Aspekte einer Erneuerung sollen im Folgenden angesprochen werden.

Bedingt durch die aktuelle Sanierung der zweiten Emdener Schleuse bei Nesserland muss die "Große Seeschleuse" heute rd. 15.000 Schiffe jährlich aufnehmen. Davon sind 2.500 große Seeschiffe und 7.500 sind Binnenschiffe. Das Ergebnis einer ersten Machbarkeitsstudie sollte spätestens Ende 2010 vorliegen, damit die entsprechenden Rahmenbedingungen hinsichtlich der Kosten und der Genehmigungen abgesteckt werden können. Wesentlich ist, dass die Erneuerung der Schleuse unter vollem Hafenbetrieb vorgenommen werden muss.

Dieses wird innovative Lösungen in der Bautechnik erforderlich machen. Erste Überlegungen sind der Einsatz großformatiger schwimmender Elemente für die Schleusenhäupter, die vor die vorhandenen gesetzt werden müssen. Weiterhin ist wichtig, dass die neuen Schleusenammerwände erstellt werden müssen, ohne das vorhandene Füllsystem zu beeinträchtigen. Dieses

bedeutet wiederum, dass die Schleusendimensionen größer werden müssen. Eine Schleusenammerlänge von 320 m und eine Durchfahrtbreite von 55 m eröffnen insbesondere der in Emden wachsenden Offshoreindustrie zusätzliche Chancen im Wettbewerb.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Randbedingungen aus der Geometrie und dem Betrieb der alten Schleuse und stellt ein Konzept zur Planung und zum Bauablauf einer neuen Schleuse vor. Er gibt den Stand der Planungen zum Herbst 2009 wieder. Weitere Einzelheiten sollen im Vortrag auf der PIANC Konferenz in Liverpool vorgestellt werden.



Neue Schleusenammer mit Kreuzfahrtschiff AidaLuna

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

### Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden

#### 1 Einführung

##### 1.1 Der Hafen Emden

Der Hafen Emden befindet sich im südwestlichen Teil der deutschen Bucht unmittelbar im Grenzbereich zu den Niederlanden an der Mündung der Ems in den Dollart (Bild 1). Die angrenzende Landschaft ist seeseitig durch das Wattenmeer und landseitig durch weites flaches Marschland geprägt, das sich zu einem großen Teil unterhalb des mittleren Tidehochwassers befindet. Sie trägt die Bezeichnung Ostfriesland und ist zur See durch viele kleine Fischereihäfen und dem Haupthandelshafen Emden geöffnet.

Im Jahre 2007 betrug der bisher größte Umschlag an Kfz im Im- und Export etwa 1.100.000 Stück. Weitere für den Hafen Emden zu nennende bedeutende Güter sind Waldprodukte (1,0 Mio. t), verflüssigter Marmor (1,0 Mio. t) und einige hunderttausend Tonnen flüssiger Düngemittel und Magnesiumsole. Von zunehmender Bedeutung ist der Umschlag so genannter Projektladung, unter der Elemente für den Bau von Windkraftanlagen wie Türme, Generatoren und Propeller zu verstehen sind (200.000 m<sup>3</sup>). Hier wird die Menge, teilweise wegen des sehr geringen Gewichts nur in Kubikmetern angegeben.

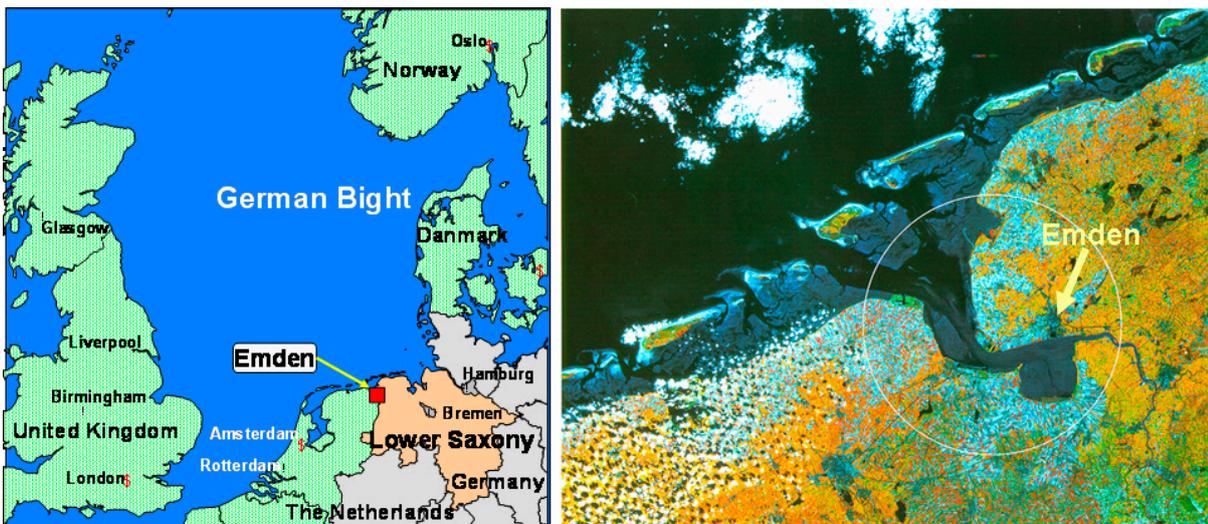


Bild 1: Lage des Hafens Emden

Die räumliche Ausdehnung des Hafens beträgt mehr als 2.000 ha, davon sind heute jedoch nur 700 ha für Hafenzwecke genutzt. Es stehen über 20 km als Kai-mauern, offene Piers oder durch Böschungen gesicherte Uferabschnitte mit rd. 40 Liegeplätzen für Schiffe verschiedener Größe bis zu einer Tragfähigkeit von 80.000 tdw zur Verfügung. Der Hafen verfügt über zwei Seeschleusen, verschiedene bewegliche Brücken und mehrere durch Tore verschließbare Öffnungen im Hochwasserschutzdeich. Weltweit hat der Hafen Emden die größte Bedeutung für die Distribution von Kraftfahrzeugen der deutschen Volkswagengruppe. Es werden allerdings auch Fahrzeuge anderer Hersteller umgeschlagen.

Die Nordseewerke sind ein bedeutender Betrieb für den Bau von Offshorekonstruktionen für die Rohstofferkundung und die Gründung von Windkraftanlagen in der offenen See aber auch für die Wartung und Reparatur von Schiffen und anderen schwimmenden Einheiten (Bild 2).

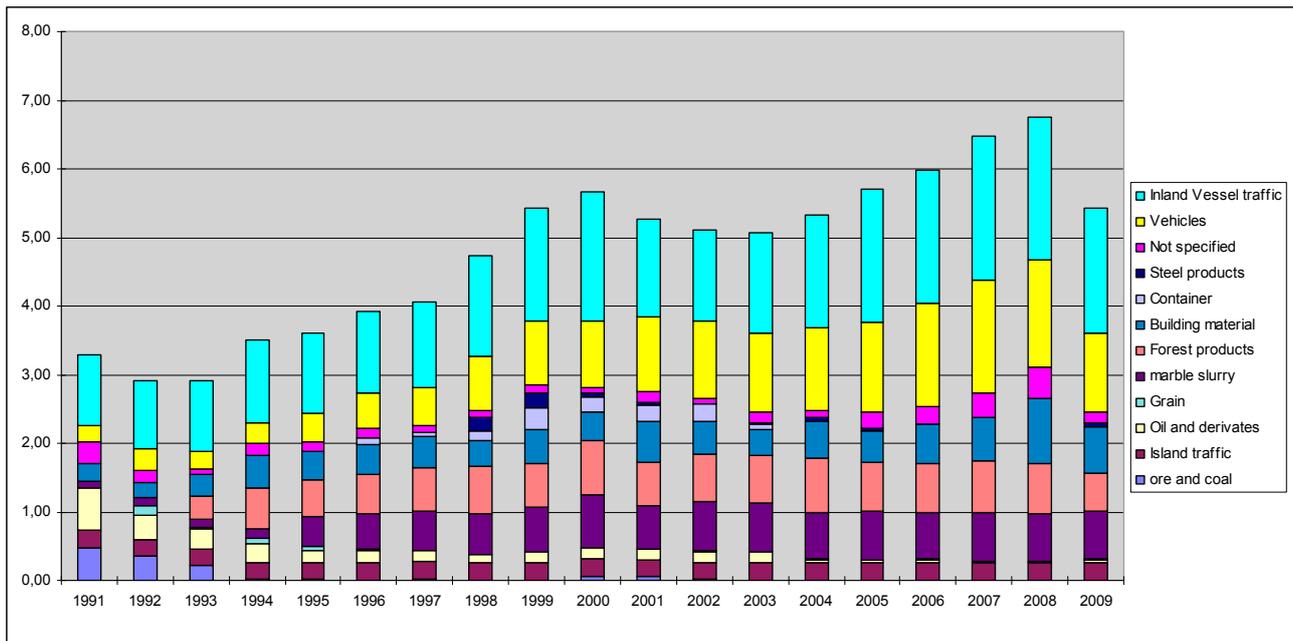
Der weltweite Einbruch in Handel und Produktion in den Jahren 2008 und 2009 ging auch an Emden nicht spurlos vorüber. Mit weniger als 20% Umschlagverlust in der Menge traf es den Hafen Emden vergleichsweise gering, da die höhere Wertschöpfung, insbesondere bei der Projektladung den Einbruch teilweise wettmachen konnte (Bild 3).



Bild 2: Hafen Emden, Autoport (links); Umschlag von Windkraftanlagen (rechts)

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

### Feasibility Studie zur Erneuerung der „Großen Seeschleuse“ in Emden

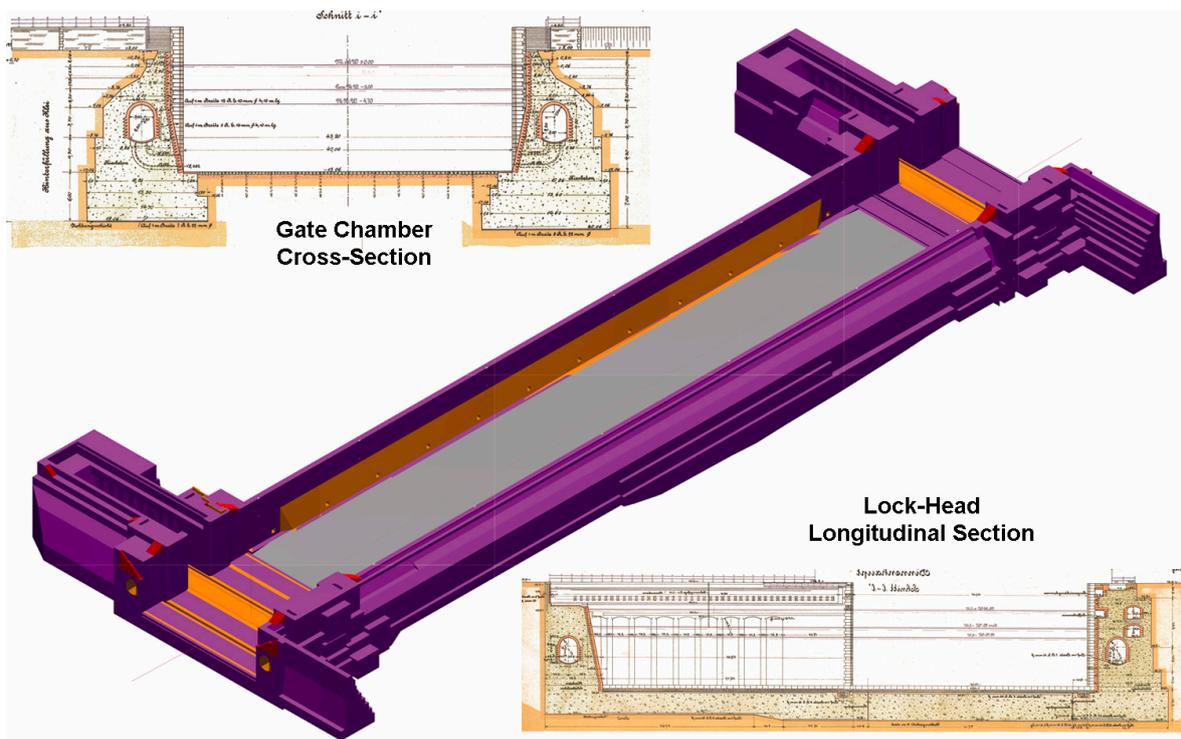


**Bild 3:** Hafen Emden, Umschlagentwicklung in Tonnen (1991 bis 2009)

Weil die Entwicklungsmöglichkeiten in den heutigen Grenzen des Hafens sehr eingeschränkt sind, wurde im Jahre 2008 ein neues Hafententwicklungskonzept aufgelegt, das eine Ausweitung der Hafenaktivitäten seewärtig entlang der Ems bis zum etwa 17 km entfernten Rysumer Nacken in der Zukunft vorsieht. Diesen „Masterplan“ umzusetzen wird allerdings eines Zeitraumes von mindestens 15 Jahren bedürfen. Damit verbunden sollte eine intensive wirtschaftliche Stärkung des ostfriesischen Raumes einhergehen. (CLASMEIER, H.D. 2008).

### 1.2 Die Geschichte der „Großen Seeschleuse“ in Emden

Die dramatische Verschlickung des alten Emdener Fahrwassers zwischen dem damals innerstädtischen Hafen und dem Dollart veranlasste den Rat der Stadt Emden um 1840 zu entscheiden, dass ein neues, tideunabhängiges Fahrwasser zur Ems gegraben werden sollte. Dieser Kanal wurde nach Süden im Bereich der Einmündung in den Dollart anfangs durch eine Dockschleuse, ab 1888 dann durch eine parallel dazu angeordnete einfache Kammerschleuse abgeschlossen.



**Bild 4:** 3-D Modell der Großen Seeschleuse in Emden

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden

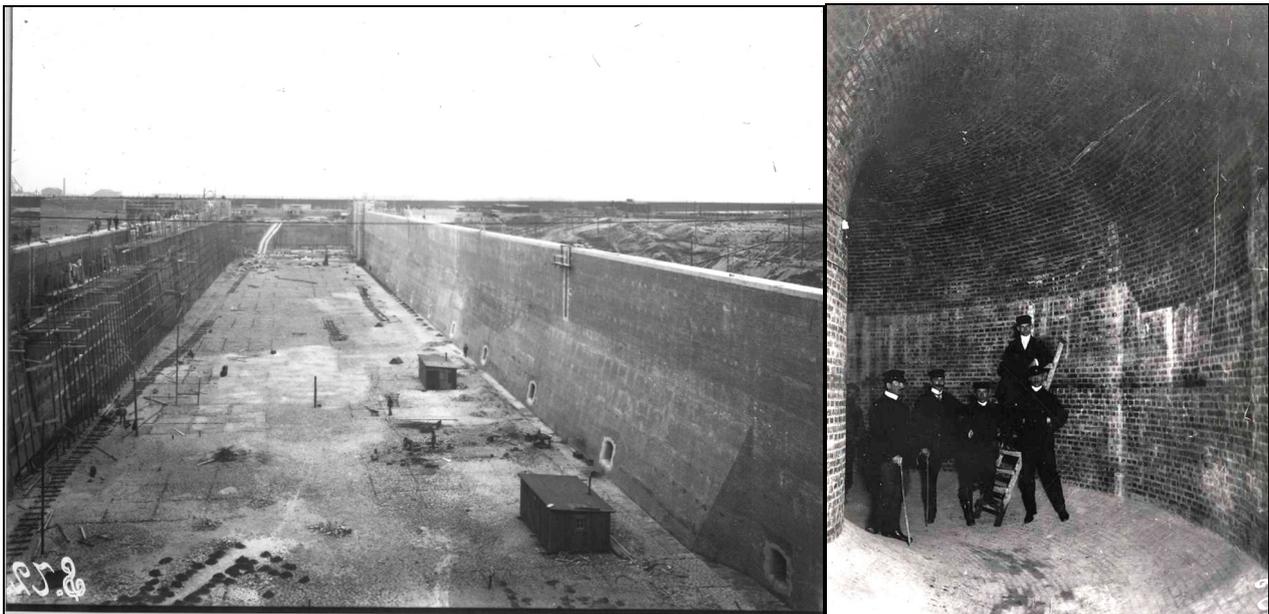
Dieses ist als die Geburtsstunde des modernen Hafens Emden zu sehen.

Zunehmende Schiffsgrößen aber auch eine schnelle Entwicklung de Hafens erforderten bereits anfangs des 20. Jahrhunderts den Bau einer zweiten größeren und von den Wasserständen absolut unabhängigen Kammersehleuse. In den Jahren zwischen 1907 und 1913 baute die damalige preußische Wasserbauverwaltung, auch unter den Zwängen der Expansionsgelüste von Kaiser Wilhelm II. die heutige „Große Seeschleuse“ (ZANDER, W. 1914). Mit den Abmessungen von 260 m Länge zwischen den Toren und einer Kammerbreite von 40 m war sie in der Lage vier „kleine Kreuzer“ der Emden-Klasse gleichzeitig aufzunehmen. Heute lassen die Abmessungen die Schleusung eine voll abgeladenen Schiffes von 50.000 tdw Tragfähigkeit zu (Bild 4). Die Schleuse war zu ihrer Zeit eine der größten Seeschleusen weltweit. Sie ist an jedem Haupt mit einem Schiebetor ausgestattet. Die Schleusenhäupter sind mittels Deich miteinander verbunden (Bild 6).

Die Schleuse ist täglich 24 Std. in Betrieb. Dieses bedingt einen erheblichen Verschleiß der Führungsschienen für die Tore, der bereits 1950 zu einem schweißtechnischen Auftrag auf die Schienen führte. In den Jahren zwischen 1984 und 1997 wurden sämtliche Laufschielen in den Häuptern in Unterwasser-/Druckluftarbeit erneuert (CLASMEIER, H.D. 1985; HÜBNER, H.J. 1993).

entfielen die Erneuerung der inzwischen in die Jahre gekommene „Großen Seeschleuse“ in Emden. Die hohen Investitionskosten und die wegen der Grenzsituation ungeklärten völkerrechtlichen Fragen zwischen Deutschland und den Niederlanden, aber auch der mangelnde Rückhalt in der Emdener Hafenwirtschaft waren Anlass, das Projekt im Jahre 1990 abzubrechen. In der Konsequenz wurde der Hafenplanung und dem Hafenbetrieb klar, dass nunmehr die „Große Seeschleuse“ zunächst kurzfristig umfangreich saniert (siehe oben) und in absehbarer Zeit auch erneuert werden müsste.

Durch die Außerbetriebnahme der "Nesserlander Schleuse" infolge mangelnder Betriebs- und Stand-sicherheit im Jahre 2006 ist die Bedeutung der "Großen Seeschleuse" weiter gestiegen. Die kleinere Nesserlander Schleuse wird zurzeit erneuert und den Schiffsgrößen in der Binnen- und Küstenschiffahrt angepasst. Die Fertigstellung ist bis zum Jahre 2013 zu erwarten. Dieses bedeutet aber, dass die "Große Seeschleuse" über einen Zeitraum von 7 Jahren zusätzlich etwa 12.000 Schiffe mehr zu schleusen hat und durch heute 6.500 Schleusungen anstelle von bisher etwa 4.500 Schleusungen ihre theoretische Lebenszeit zusätzlich verringert wird. Spätestens im Jahre 2025 hat die Schleuse das Ende der technischen Betriebszeit erreicht.



**Bild. 5:** Bau der "Großen Seeschleuse"; Schleusen-kammer(links), Längskanal (rechts)

In den frühen 80er Jahren des letzten Jahrhunderts war vorgesehen, die Ems durch den Dollart umzuleiten, auf dem Geiserücken zwischen Emdener Fahrwasser und Dollart einen Deich zu bauen und das so entstehende Hafenbecken an der Knock im Übergangsbereich zwischen Dollart und der freien Nordsee mit einer sehr großen Schleuse dem Tideeinfluss zu entziehen. Dadurch sollten erhebliche Kosten für Unterhaltungsbaggerungen im Emdener Fahrwasser eingespart werden (CLASMEIER, H. D. et al. 1986). Die Baukosten für das so genannte Dollarthafenprojekt wurden seinerzeit mit 1,4 Milliarden DM (0,75 Mrd. Euro) veranschlagt. Damit

Die "Große Seeschleuse" wurde in einer geböschten großen Baugrube hergestellt, die gegen höhere Wasserstände durch einen Deich geschützt war. Das gesamte Bauwerk ist flach gegründet. Der Gründungshorizont wurde jeweils der Bodenschichtung angepasst. Die Bauwerkswände sind sowohl für die Schleusen-kammer wie auch für die Torkammern als Schwerkermwerkmauern in Stampfbeton mit vorgesetzter Mauerwerksschale hergestellt (Bilder 4 und 5).

## 2. Wesentliche Randbedingungen für die Erneuerung der Schleuse

### 2.1 Generalplan

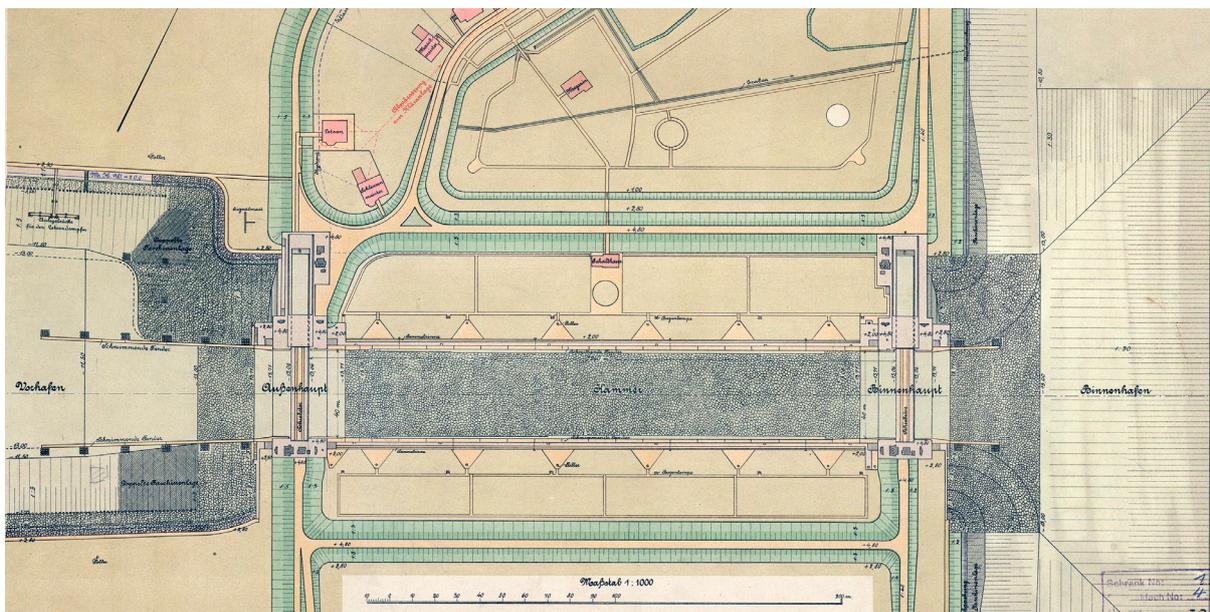
Die Hafenbauer in Emden wählten anfangs des 20. Jahrhunderts für die Seeschleuse und ihre Zufahrt von der Ems eine Lage, die auch nach fast 100 Jahren Betriebserfahrung als optimal bezeichnet werden darf. Die Anzahl von Havarien zwischen Schiffen und Schleusenbauteilen ist nach Durchsicht des Bauarchivs als gering zu bezeichnen. Größere Schäden sind ausgeblieben. Frühere Planungen zur Erneuerung der Seeschleuse sahen vor, diese südlich der vorhandenen ohne Beeinträchtigung des Hafensbetriebes zu bauen. Bedingt durch den Ausbau des Fahrwassers der Ems zwischen Emden und Papenburg und infolge der unter Naturschutz gestellten Wattenflächen im Dollart u.a. auf dem Geiserücken lässt sich diese Planung aber heute nicht mehr verwirklichen. Damit einhergehen müsste die Verlegung des Fahrwassers in das sehr wertvolle und nicht antastbare FFH-Gebiet, das in dem erheblichen Ausmaße des Eingriffs nicht zu ersetzen ist. Außerdem lässt sich der emsseitige Vorhafen nicht verlängern. Es verbleibt als einzige Lösung nur die Erneuerung der Schleuse in ihrer vorhandenen Achse. Die Abmessungen einer künftigen Schleuse werden aufgrund der Aufrechterhaltung des Hafensbetriebs und der Möglichkeiten der Bautechnik zu entwickeln sein.

Die natürliche Wassertiefe der Ems ohne den Einsatz von Nassbaggergeräten beträgt etwa 6,00 m unter Seekartennull. Durch umfangreiche Unterhaltungsbaggerungen wird heute eine Fahrwassertiefe von SKN -8,20 m vorgehalten. Eine Vertiefung auf SKN -9,20 m soll bis zum Jahre 2012 abgeschlossen werden. Eine Fahrwassertiefe auf SKN -9,70 m ist denkbar, also sollte eine neue Seeschleuse auf diese Tiefe bemessen werden. Der Binnenhafen und die vorhandene Seeschleuse sind darauf ausgerichtet, dass Schiffe mit max. 11,00 m Tiefgang gefahrlos die Hafenanlagen auf der Hochwasserwelle fahrend anlaufen können. Schiffe bis 12,00 m Tiefgang könnten nach Herstellung von

Liegewannen im Außenhafen und direkt an der Ems dort anlegen.

Die Drempttiefe der Seeschleuse beträgt heute SKN -9,76 m; das entspricht NN -11,96 m. Da der gesamte Bereich der Schleusenkammer durch Basaltsteinpflaster 40/50 cm gegen Erosion ausgepflastert ist, empfiehlt es sich, sowohl Schleusenkammersohle, wie auch Drempttiefe der Häupter beizubehalten.

Die Einfahrtbreite der Großen Seeschleuse beträgt 40,00 m in den Häuptern und 43,20 m zwischen den Kammerwänden, die durch Schwimmfelder geschützt sind. Der Füll-/Entleerungsvorgang der Schleusenkammer erfolgt über beidseitige Längskanäle in den Wänden mit Öffnungen oberhalb der Sohle. Die 3-D Darstellung im Bild 4 gibt eine Übersicht über das Bauwerk. Bei der Diskussion über die Erneuerung der Schleusenkammerwände zeigt sich, dass bei Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebes in einem ersten Schritt neue Häupter mit Toren und integrierten Torschützen hergestellt werden müssten. Erst nach deren Inbetriebnahme kann mit den Rückbauarbeiten und der Erneuerung der Schleusenkammerwände begonnen werden. Die Füll- und Entleerungsvorgänge erfolgen dann über die Torschütze. Jeweils eine Schleusenkammerwand muss über die gesamte Bauzeit für das Anlegen von Schiffen geeignet sein. Neue Schleusenkammerwände unabhängig von den vorhandenen herzustellen würde zu einer Kammerbreite von etwa 68 m führen, das ist zuviel für das Bemessungsschiff mit einer Tragfähigkeit von rd. 50.000 tdw. Der Zustand der alten Kammerwände lässt es zu, dass innerhalb der Wand, jedoch ohne Beschädigung der Umläufe ein suspensionsgefüllter Schlitz hergestellt werden kann, in den neue Stahlbetonfertigteilelemente eingestellt werden. So lässt sich die neue Schleusenkammerbreite auf etwa 55 m reduzieren und entspricht damit den Breitenabmessungen der neuen Panamakanalschleusen (55 m breit; 427 m lang), die für die Entwicklung der Schiffsgrößen in der Weltschifffahrt eine erhebliche Bedeutung gewinnen werden.



**Bild 6:** Generalplan der Großen Seeschleuse in Emden (1914)

Neue Schleusenhäupter sind praktischerweise nur außerhalb der Seeschleuse zu platzieren, da bei einer Erneuerung am alten Standort ein Schleusenbetrieb infolge der Bauaktivitäten über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren nicht möglich sein wird. Somit verlängert sich die nutzbare Schleusenlänge auf 320 m und entspricht damit der Länge der neuen Kaiserschleuse in Bremerhaven. Noch keine endgültige Antwort kann heute auf die Frage nach der Ausrüstung der Schleusenhäupter gegeben werden. Die Machbarkeitsuntersuchung geht zunächst davon aus, dass die Häupter jeweils mit einem Tor ausgerüstet und mit einem Schleusendeich verbunden werden. Dieses wird notwendig, da beim Ausfall eines Tores z.B. durch eine Havarie ein zweites zur Verfügung stehen muss, um die Bevölkerung der Stadt Emden vor extremen Wasserständen zu schützen. Alternativ dazu könnte das Außenhaupt mit identischen Toren ausgerüstet werden, der Schleusendeich würde entfallen und die Höhe des Binnenhauptes entspräche dem angrenzenden Gelände.

Die Große Seeschleuse ist die südliche Verbindung zwischen dem Binnen- und dem Außenhafen. Die Tore sind heute passierbar für Fahrzeuge bis 2,00 m Breite und einem Gesamtgewicht bis 7,5 to. Die positive Hafenentwicklung wie auch der stark zunehmende innerstädtische Verkehr verlangen zunehmend diese Verbindung auch für schwere Lastkraftwagen bis 60 to. So soll im Zusammenhang mit der Erneuerung der Schleuse entweder eine kreuzende Klappbrücke oder eine entsprechende Überfahrt über die Schleusentore geschaffen werden. Die hier beschriebene Lösung beschränkt sich auf die Überfahrt über die Schleusentore.

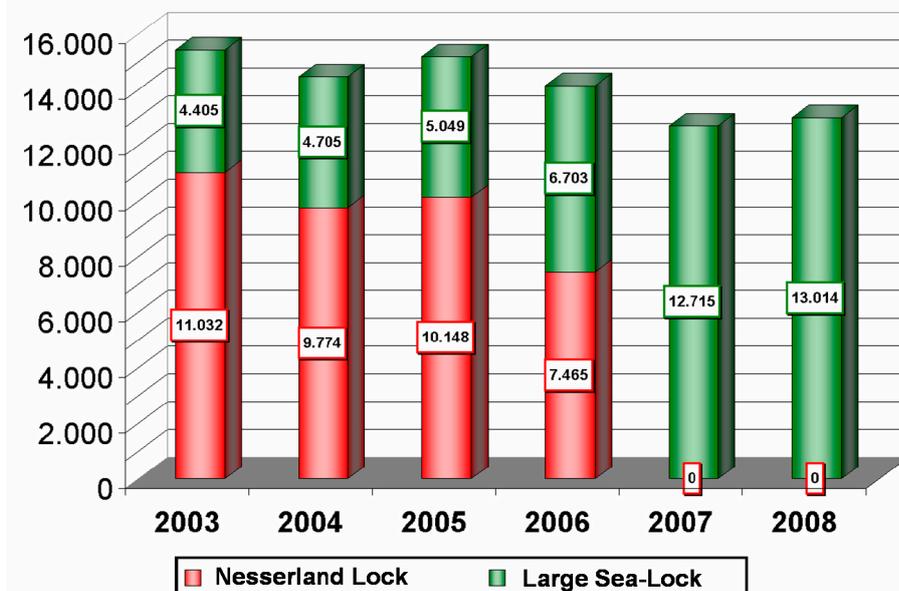
Im Gegensatz zu vielen alten Bauwerken wurde beim Bau der Großen Seeschleuse in den Jahren 1907 bis 1913 eine sehr gute Dokumentation angelegt. Vorhandene Bestandsunterlagen des Planers ZANDER. W. (1914) und Bauzustandsbeschreibungen erleichtern heute die Planung. Es existieren zusätzlich sehr gute fotografische Darstellungen von Baugrube und Bau-

werk, so dass das alte Bauwerk leicht rekonstruiert werden konnte (Bilder 4 und 5).

**2.2 Planungen unter den Anforderungen eines ständigen Hafensbetriebs**

Mehr als 15.000 Schiffe, beginnend mit den kleinen Sport- und Segelbooten über Binnenschiffe bis hin zu Seeschiffen, wie Autotransporter und Bulkcarrier mit mehr als 220 m Länge müssen jährlich geschleust werden, um den Emden Binnenhafen zu erreichen (Bild 7). Die Große Seeschleuse nahm bisher die Seeschiffe und die größeren Binnenschiffe auf. Kleinere schwimmende Einheiten und insbesondere Versorgungsschiffe und Schlepper nahmen bis Ende 2006 den Weg über die Nesserlander Schleuse. Diese wurde wegen schwerer Schäden geschlossen und wird aktuell bis Ende 2012 mit erweiterten Abmessungen erneuert (CLASMEIER. H.D. 2008). Sie wird dann in der Lage sein, Seeschiffe bis etwa 5.000 tdw Tragfähigkeit und übergroße Gütermotorschiffe (ÜGMS) bis 135 m Länge aufzunehmen. Seit der Außerbetriebnahme der Nesserlander Schleuse hat sich die Anzahl der Schleusungen in der Großen Seeschleuse mehr als verdoppelt.

Die für die Planung einer neuen großen Seeschleuse wichtigste Anforderung besteht in der Sicherstellung der ständigen Bereitschaft der alten Schleuse, auch für die größten Schiffe. Die Bedeutung des Hafens Emden für die Hafenwirtschaft ist mit den Schleusungen von Autotransportern, Bulkcarriern für Baustoffe, Flüssigkreide und Forstprodukte und zunehmend in den nächsten Jahren mit großen Transporteinheiten für die Offshore-Windkraftindustrie sicherzustellen. Eine 24-Stunden Betriebsbereitschaft der Großen Seeschleuse wird grundsätzlich, auch bei deren Erneuerung erwartet. Wie kann der Schleusenbetrieb bei gleichzeitigem Baustellenbetrieb zufriedenstellend bei stetigem Anstieg des Hafenumschlags und damit verbunden auch der Anzahl der Schleusungen garantiert werden?



**Bild 7:** Anzahl der Schiffsdurchgänge in den Emden Schleusen zwischen 2003 und 2008

Unter Berücksichtigung der zunehmenden Offshore-Aktivitäten der Windkraftanlagenhersteller und Windparkbetreiber in der Nordsee und den damit verbundenen Ausrüstungs- und Versorgungsfahrten, insbesondere über den Hafen Emden wird eine Steigerung des seewärtigen Schiffsverkehrs um 300% in den nächsten Jahren prognostiziert. Der Binnenschiffsverkehr ins Hinterland wird sich in den nächsten 50 Jahren mehr als verdoppeln (Bild 8). Bei der Prognose ist die Kleinschiffahrt (Sportboote, Hafendienste und Schlepper) nicht berücksichtigt, da diese künftig (ab 2013) wieder auf die Nesserlander Schleuse ausweichen können.

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden

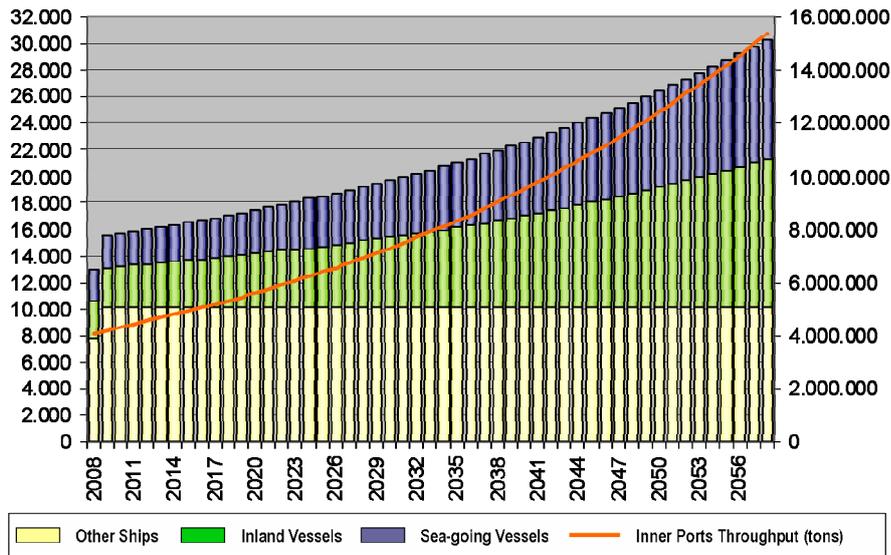


Bild 8: Prognose der Schleusungen bis zum Jahre 2056

- Welches Spezialgerät ist verfügbar? Gibt es ausreichend große Pontons, Schwimm- oder Trockendocks? Welches Hebegerät ist vorhanden und kann auch eingesetzt werden?
- Welche Risiken bestehen für den Hafen und seine Betreiber, wenn eine Operation nicht in der vorgesehenen Zeit abgeschlossen werden kann (aus einer Woche werden drei oder vier Wochen)?
- Werden die Kosten innerhalb der Grenzen anzuordnen sein, die durch die Hafenverwaltung und ihre Geldgeber finanziert werden können?

Bei einer Schleusensanierung oder einem aufwändigen Umbau der Schleusenanlage würden Totsperrungen von mehr als einer Woche von der Hafenwirtschaft nicht akzeptiert. Dieses haben verschiedene Reparaturmaßnahmen an der „Großen Seeschleuse“ in der Vergangenheit mehrfach bestätigt. Eine Schleusenerneuerung muss weitestgehend im Rahmen eines „normalen“ Schleusenbetriebes durchgeführt werden und dieses bei einer möglichst geringen Bauzeit. Diese wiederum erfordert aber ein paralleles Arbeiten an beiden Schleusenhäuptern und beiden Schleusenkammerwänden. Dieser Widerspruch kann nicht aufgelöst werden, da ständig eine Kammerwand zum Anlegen der Schiffe genutzt werden muss. Daraus lässt sich folgender Bauablauf entwickeln:

1. das Außenhaupt ist auf einem Ponton oder in einem Dock herzustellen und auszuschwimmen
2. anschließend wird dort das Binnenhaupt hergestellt. Zwischenzeitlich ist für die neuen Häupter jeweils eine Baugrube ausgehoben worden, in die die Häupter eingeschwommen werden können
3. eine neue Schleusenkammerwand ist zunächst einseitig ohne Beschädigung der seitlichen Füllkanäle herzustellen
4. nach der Inbetriebnahme der neuen Häupter wird einseitig eine alte Schleusenkammerwand zurückgebaut
5. letztlich kann die andere Kammerwand hergestellt und die Schleuse abschließend ausgerüstet werden

Doch um diesen Baufortschritt sicherzustellen müssen noch einige Fragen beantwortet werden:

- Sind die vorgesehenen Bauweisen (Senkkasten, Schlitzwand in vorhandener Wand) grundsätzlich möglich?
- Welche Konstruktionstechniken sind hierbei nach dem Stand der Technik anwendbar?

Die Machbarkeitsstudie und dieser Beitrag versuchen darzustellen, dass es möglich ist, die Schleuse im Betrieb umzubauen und sich die Investitionskosten im Rahmen allgemein gültiger Kosten für solche Bauwerke bewegen.

### 2.3 Die Anforderungen an die Deichsicherheit

Die Küstenlinie in der deutschen Bucht ist durch Deiche gegen hohe Wasserstände, verursacht durch Ebbe und Flut, insbesondere aber durch Sturmfluten geschützt. Öffnungen im Deich für Hafeneinfahrten wie Schleusen unterliegen den gleichen Sicherheitsanforderungen wie auch der Deich. Verschiedene zum Teil katastrophale Sturmfluten (die Holland-Flut 1953, die Fluten von 1962 und 1976 und zuletzt die Allerheiligenflut an der Ems von 2006) erforderten mehrfach eine Anpassung des Bemessungswasserstandes mit anschließenden Deicherhöhungen. Viele Bauwerke im Deich wurden aber wegen der hohen Kosten noch nicht entsprechend angepasst. Die Oberkante der Schleusenhäupter der Großen Seeschleuse sind seinerzeit auf NN +6,00 m hergestellt worden. Das Außenhaupt ist heute von einer Flutmauer mit OK. NN +7,00 m umsäumt, eine Stauwand des Schleusentores hat ebenfalls diese Höhe. Das Binnenhaupt ist bisher nicht angepasst worden. Die neuesten Deichhöhenberechnungen erfordern eine Oberkante der Schleusenhäupter und der anschließenden Deiche von mindestens NN +8,10 m. Dieses macht weitreichende Anpassungsmaßnahmen einer erneuerten Schleuse in die Umgebung notwendig.

Ein neues Schleusenhaupt muss, wie auch seinerzeit bei der Planung der Großen Seeschleuse ausgeführt, auf dem gleichen Niveau angeordnet werden wie der angrenzende Deich. Die hochwasserrelevanten Oberkanten der gesamten Schleusenanlage sind um 2,10 m anzuheben. Die Zufahrtsrampen auf die Schleusentore sind entsprechend zu verlängern. Dabei sollte eine Neigung von 5% bis max. 6% nicht überschritten werden.

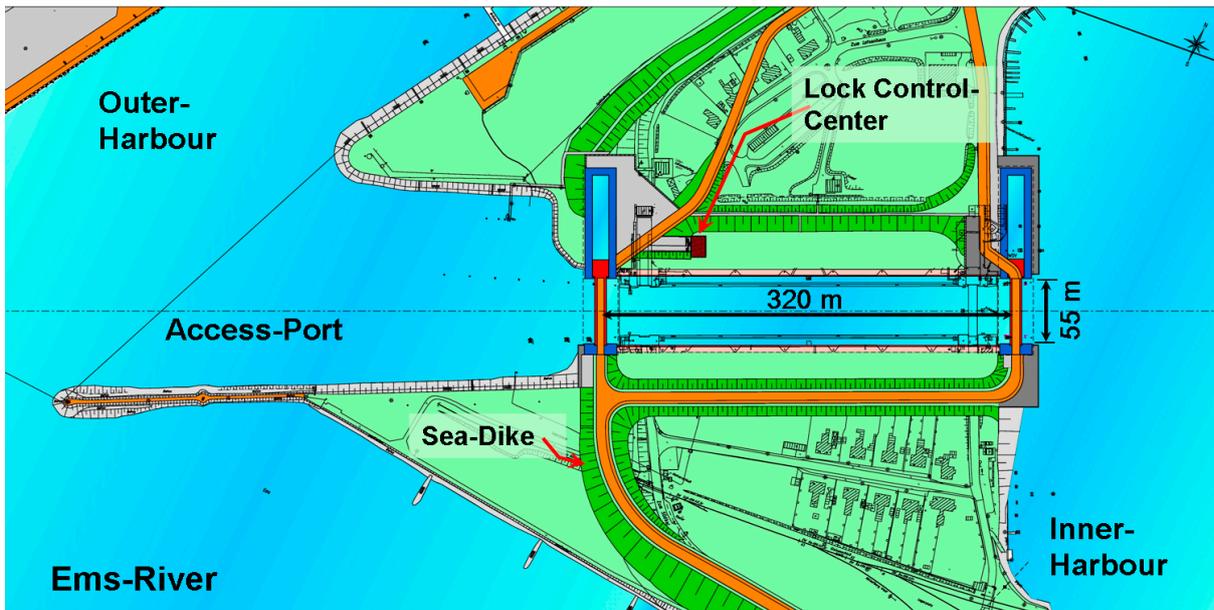


Bild 9: Generalplan der neuen Emdener Seeschleuse

Deichsicherheit in Deutschland heißt, dass Öffnungen im Deich redundant verschließbar sein müssen. Im Falle einer Schleuse bedeutet das, entweder wird das Außenhaupt mit zwei gleichwertigen Verschlüssen ausgerüstet oder ein gleich hohes Binnenhaupt wird mit einem Deich am Außenhaupt angeschlossen (wie heute bei der Gossen Seeschleuse vorhanden).

Der Vorhafen zur Großen Seeschleuse ist relativ kurz und entspricht nicht den allgemeinen Empfehlungen der PIANC Schleusenkommission. Ein neues Schleusenhaupt vor dem vorhandenen Außenhaupt sollte daher in seiner Baulänge möglichst kurz gehalten werden, um den Vorhafen nicht noch weiter einzuschränken. Damit verbietet es sich, das neue Außenhaupt mit zwei Toren auszurüsten. Ein gleichartiges Binnenhaupt und ein Schleusendeich sind die Konsequenz für die weitere Planung.

Verschiedentlich wird die Uferwand der Schleusenkammer auf dem gleichen Niveau angeordnet wie die Schleusenhäupter. Eine Schleusung ist dann bei allen Wasserständen möglich. Aus Kostengründen wird aber auch die Schleusenkammerwand auf einer Höhe angeordnet, die statistisch nur selten überflutet wird. Eine Schleusung ist bei extremen Hochwasserständen nicht mehr möglich. Von den Schleusenhäuptern sind daher Rampen zur Schleusenkammer hinunter zu führen. Um Kosten zu senken und die Entwicklungslänge der Rampen zu mindern werden die Schleusenkammerwände auf NN +4,60 m und damit 1,00 m höher als bisher angeordnet. Den aus diesen Überlegungen entwickelten Lageplan zeigt Bild 9.

#### 2.4 Das Schleusenfüll- und Entleerungssystem

Die Große Seeschleuse hat in den Schleusenkammerwänden beidseitig Füllkanäle und seitliche Einläufe in die Schleusenkammer etwa 1,50 m oberhalb der Schleusensole (Bild 4). Das Füllsystem dient auch der Zuwässerung in den Hafen bei Wasserverlusten und für die Entwässerung des Hinterlandes bei hohen Niederschlägen. Durch ein Hafenspumpwerk kann ebenfalls

zugewässert werden. Der normale Hafenwasserstand ist mit NN +1,10 m etwa 40 cm unterhalb des mittleren Tidehochwassers in der Ems.

Eine Erneuerung der Schleusenkammerwände unter Beibehaltung des alten Füllsystems ist nicht möglich, wie auch ein neues Füllsystem mittels Längskanälen nicht unter Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebs realisiert werden kann.

Zwei Möglichkeiten sind heute erkennbar:

- Der Einsatz von Schleusentoren mit integrierten Füllschützen
- Der Einsatz von anzuhebenden Schleusentoren oder eines Teiles davon zur Freigabe eines Füllschlitzes (TARRAS, Ch. 2009)

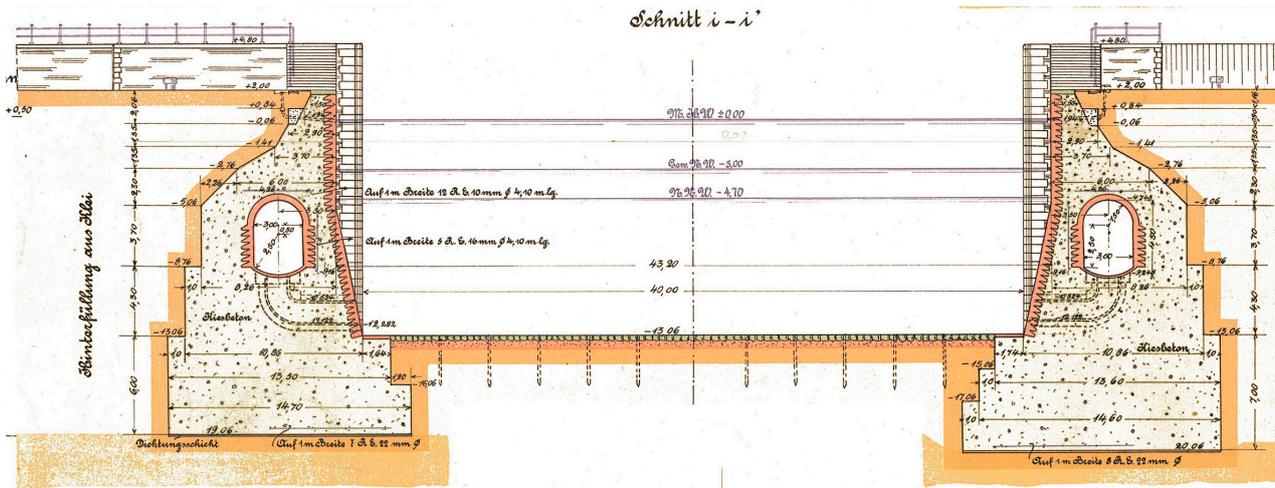
Bevor die vorhandenen Längskanäle mit ihren Verschlüssen außer Betrieb genommen werden können, müssen beide Schleusenhäupter funktionstüchtig sein und den Wasseraustausch zwischen Schleuse und Hafen gewährleisten. Dieses ist eine der größten Herausforderungen des gesamten Projektes. Erst danach können die alten Schleusenkammerwände mit den Längskanälen zurückgebaut werden. Die neuen Schleusenkammerwände sollten zu diesem Zeitpunkt weitestgehend fertig gestellt sein.

#### 2.5 Neue Schleusenkammerwände

Die Schleusenkammerwände der Großen Seeschleuse bestehen aus einem nur sehr schwach bewehrten Stampfbeton mit einer Festigkeit, die häufig weniger als 5 kN/m<sup>2</sup> beträgt. Der Beton ist sehr stark wasserdurchlässig. Die Wände sind als Schwergewichtsbauwerk in einer offenen Baugrube erstellt worden. Die Gründungssohle ist der Schichtung der Oberfläche des holozänen Sandes angepasst und schwankt um einige Dezimeter in der Höhe (Bild 10). Bei der Herstellung der Schleusenkammerwand wurde das heute sichtbare Verblendmauerwerk schichtweise aufgesetzt, um dem nachfolgenden Beton als „verlorene Schalung“ zu dienen.

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

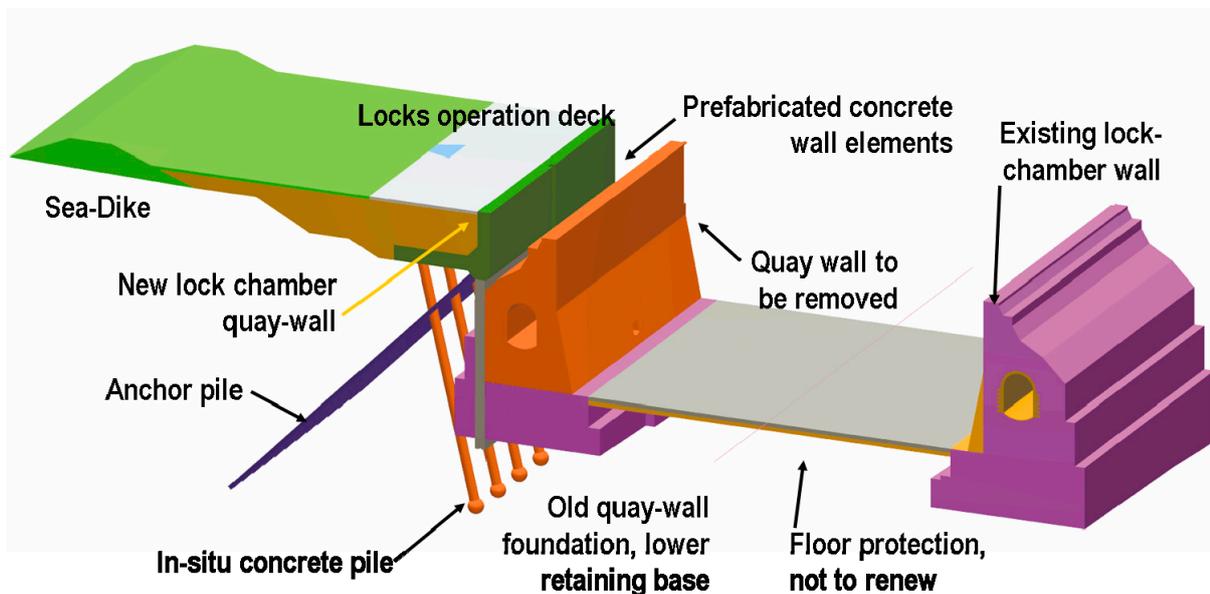
### Feasibility Studie zur Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden



**Bild 10:** Regelquerschnitt der alten Schleusenkamerwände

Eine Auswertung von Versuchen, die während der Zustandsuntersuchungen der Großen Seeschleuse in den 1980er Jahren von der BAW durchgeführt wurden zeigt, dass es bei dem schlechten Zustand des Betons leicht möglich sein muss, mit einer Schlitzwandfräse diesen auf etwa 1,00 m Breite aufzuschneiden, den entstehenden Schlitz mit Bentonit zu füllen und anschließend Stahlbetonfertigungselemente hineinzustellen und wasserdicht miteinander zu verbinden. Diese Elemente könnten in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Hebezeuge (bis 500 t Tragfähigkeit) eine Breite zwischen 4 m und 7 m haben. Die Wandelemente sollten bereits mit entsprechenden Aussparungen und Befestigungen für die spätere Kaimauerausrüstung (Poller, Leitern, Fender) versehen sein. Der unterhalb der vorhandenen Schleusensole im Boden verbleibende Teil der alten Schleusenkamerwand wird als unteres Auflager für die neue Wand wirksam.

Das obere Auflager wird durch ein Pfahlrost gebildet. Die Schleusenkamerwand, ein zur Kammer hin geneigter Ortbetonbohrpfahl und ein 45° geneigter verpresster Anker oder Ankerpfahl werden zum Pfahlrost mit einer Stahlbetonplatte vereinigt (Bild 11). Eine Wandschale als Stahlbetonfertigteile, ebenfalls mit integrierten Aussparungen für Poller, Fender und Steigeleiter dient wasserseitig als „verlorene“ Schalung für den aufgehenden Teil der neuen Kaimauer, um Behinderungen für die Schifffahrt im Uferbereich zu minimieren. Eine Ortbetonlösung ist allerdings auch denkbar. Ebenfalls ist es möglich, anstelle der beschriebenen Stahlbetonfertigteile eine kombinierte Spundwand in den mit Bentonit gefüllten Schlitz einzusetzen. Allerdings wird dann die Spundwand tiefer einbinden müssen, um eine ausreichende Einspannung zu erzielen.



**Bild 11:** 3D Animation; neue Konstruktion, durchdringend die alte Kammerwand

Die neue Schleusen-kammerwand wird abschnittsweise zu errichten sein. Auch hier spielt wieder die Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebs die wichtigste Rolle. Die Länge der einzelnen Abschnitte wird auf etwa 20 m bis 25 m begrenzt sein. Nach der Fertigstellung über die gesamte Länge kann dann die alte Schwergewichtswand vorsichtig abgetragen werden. Aufgrund der geringen Festigkeit des Betons müsste es möglich sein, Trennschnitte mittels eines Hochdruckwasserstrahlschneidens durchzuführen. Hierzu müssen allerdings im Vorwege gesonderte Versuche durchgeführt werden. Ein gleichzeitiges Arbeiten auf beiden Seiten der Schleusen-kammer wird nur begrenzt möglich, da grundsätzlich eine Seite für die Schifffahrt weitestgehend behinderungsfrei gehalten werden sollte.

## **2.6 Die Schleusenhäupter**

Der schwierigste und auch anspruchsvollste Abschnitt beim Erneuerungskonzept für die Schleuse wird in der Herstellung der Schleusenhäupter gesehen. Die vorhandenen Häupter mit den Schleusentoren, aber auch die Füllkanäle der Schleuse müssen bis zur kompletten Fertigstellung der neuen Häupter ihre Funktion in jeder Hinsicht erfüllen. Damit verbietet sich eine in situ Herstellung dieser Bauteile. Der Einbau von vorgefertigten Schleusenhäuptern, entweder in einem Stück oder geteilt (Torkammer- und Durchfahrtelement) wie sie bereits in Boulogne/Frankreich im Jahre 1972 oder in Bremen-Oslebshausen/Deutschland im Jahre 1981 (PIANC 1985) zum Einsatz kamen, wird in Emden die geeignete Lösung sein. Das bedeutet folgenden Bauablauf:

Ein schwimmfähiges Schleusenhaupt aus Stahlbeton könnte in einer Baugrube oder in einem Trockendock (1), in einem Schwimmdock (2) oder auf einem absenk-baren Ponton hergestellt werden (3). Das Element kann in das Wasser abgesenkt werden (2 und 3) oder die Schwimm-lage wird durch Fluten der Baugrube oder des Docks hergestellt. Der einfachste Weg scheint der Einsatz einer Baugrube zu sein, die beispielsweise durch das Trockenlegen eines Hafenbeckens geschaffen werden kann. So war in den 90er Jahren vorgesehen, den Jarßumer Hafen abzdämmen, ihn trocken-zulegen und dort eine komplette kleine Schleuse zu bauen, um sie anschließend in die „Große Seeschleuse“ zu verholen, nachdem diese an anderer Stelle erneuert worden wäre. Die Hafententwicklung der letzten 10 Jahre lässt diese Möglichkeit aber nicht mehr zu. Denkbar ist auch die Nutzung eines Trocken- oder Schwimmdocks der im Hafen angesiedelten Werften. Doch die Verfügbarkeit der Docks ist sehr begrenzt und dem Schiffbau vorrangig vorbehalten. Eine andere Lösung wird gefunden werden müssen.

Durch die Verfügbarkeit großer Pontons, die tief abge-senkt werden können oder auch die von leistungsfähigen Dockschiffen bieten sich weitere Möglichkeiten an. Abhängig von der Größe des Pontons könnte ein Schleusenhaupt in einem Stück hergestellt werden. Im Hinblick auf das dann jedoch sehr langwierige Einschwimmmanöver in die Baugrube für das Haupt wird eine Teilung in ein Torkammer- und ein Durchfahrtelement empfohlen. Dadurch kann beim Einschwimmvorgang zusätzliche Flexibilität gewonnen werden. Die umspundeten Baugruben sind im Vorwege herzustellen. Nachdem die Elemente für beide Schleusenhäupter fertig gestellt sind, kann der Einschwimmvorgang be-

gonnen werden. Der tragfähige holozäne Sand lässt eine Flachgründung der Schleusenhäupter zu.

Die heutige Nutzung der Hafentflächen bietet es an, den Ponton am besten am westlichen Ende des Südkais zu stationieren. Dort ist sowohl genügend Wassertiefe, wie Landfläche für die Baustelleneinrichtung vorhanden. Denkbar ist aber auch eine Fertigung der Schwimmkörper z.B. in einem fernen Land mit niedrigen Lohnkosten, um sie dann mit einem Dockschiff oder einem Hochseeponton nach Emden zu bringen. Eine Entscheidung kann allerdings nicht jetzt getroffen werden, sondern muss von der Wirtschafts- und Hafensituation zum Zeitpunkt des Baus abhängig gemacht werden.

Im ersten Schritt muss vor dem Absenken des Schwimmkörpers in die umspundete Baugrube diese vom aus dem Hafen eingeflossenen weichen Schlick gesäubert werden und eine Ausgleichsschicht aus grobem Schotter eingebracht werden. Das Einfahrtelement wird in den Baugrubenabschnitt für die Torkammer eingeschwommen und kann dort endausgerüstet werden. So ist sichergestellt, dass die Einfahrt in die Schleuse weiterhin möglich bleibt. Im Zuge einer Schleusensperre von mehreren Tagen ist dann das Element in die Einfahrt unter Zuhilfenahme eines Schwimmkranes zu verholen, zu positionieren und zu ballastieren. Im zweiten Schritt ist dann das Torkammer-element einzuschwimmen und abzusetzen. Die Fuge zwischen den Elementen ist dicht zu verschließen. Abschließend sind beide Elemente im Bereich der Torkammeröffnung miteinander zu verbinden und der Schleusentorantrieb zu installieren. Die trockengelegte Torkammer wird für den Einsatz des Schleusentores vorbereitet.

Das zwischenzeitlich auf einer Werft gebaute schwimmfähige 1.800 bis 2.000 to schwere Schleusentor wird letztlich in die Torkammer eingeschwommen, auf den vorbereiteten Unterwagen abgesetzt und in Betrieb genommen. Die im Schleusentor integrierten Füllöffnungen mit ihren Verschlüssen zum Füllen und Leeren der Schleusen-kammer müssen positiv getestet werden, um die vorhandenen Längskanäle außer Betrieb nehmen zu können und die Schleusen-kammerwände zurückzubauen.

## **2.7 Die neuen Schleusentore**

Der Generalplan einer Schleusen-anlage bestimmt in den meisten Fällen die Art der Verschlussorgane. In der vorliegenden Situation mit einer begrenzten Entwicklungslänge des gesamten Bauwerks scheiden Stemmtore aus, da die Häupter jeweils ein Ebbe- und ein Fluttopaar aufweisen müssen. Die Länge würde mit etwa 400 m das mögliche Maß weit überschreiten. Allerdings scheiden Stemmtore auch wegen der notwendigen Durchfahrtsbreite von 55 m ebenfalls aus. Bedingt durch die mit der Breite zunehmenden Stemmkkräfte sind bisher nur Schleusen bis zu 45 m mit Stemmtoren ausgerüstet worden. Es verbleiben somit nur horizontal zu verschiebende Tore, die mit Gleitkufen auszurüsten sind, auf einem schienengeführten Wagen laufen oder die im Schwebezustand verschwommen werden.

Die bisherige Machbarkeitsuntersuchung stellt fest, dass sich das auf Rollen und Schienen zu bewegende Tor weltweit bewährt hat. Zur Ausführung kamen bisher das System mit zwei Unterwagen und einem in der Torkammer oben fahrender Antriebswagen und das

System mit einem Unterwagen und einem Oberwagen in der Torkammer, der gleichzeitig die Antriebskräfte auf das Tor überträgt (Schubkarrenprinzip). Die Antriebskraft wird über Seile, Ketten oder Zahnstangen von den entsprechenden Motoren in einem Antriebshaus oder auf dem Oberwagen übertragen. Das Schubkarrenprinzip hat den Vorteil, dass sich der Unterwasserfahrweg auf die Durchfahrtsbreite beschränkt. Beim Ausfall der Unterwagen werden gelegentlich hochabriebsfeste Kufen meist aus Polyäthylen an der Unterseite des Tores angebracht, auf denen es dann rutschen kann. Für die weitere Vorplanung wird zunächst am Schubkarrenprinzip festgehalten, es ist weltweit am häufigsten bei großen Schiebetoren eingesetzt worden.

Grundsätzlich sind die Schleusentore schwimmfähig auszubilden, um sie bei notwendigen Unterhaltungsarbeiten außerhalb der Torkammern leichter transportieren zu können. Während des Schleusenbetriebes sollten die Tore auf das geringste mögliche Betriebsgewicht ballastiert werden, um den Verschleiß an Rollen und Unterwasserschienen zu minimieren. Einfache Unterhaltungsarbeiten können in der trocken gelegten Torkammer durchgeführt werden. Die Zufahrt in den Hafen kann dann allerdings nur bei Wassergleichstand geschehen, da jedes Haupt lediglich mit einem Tor ausgerüstet werden soll.

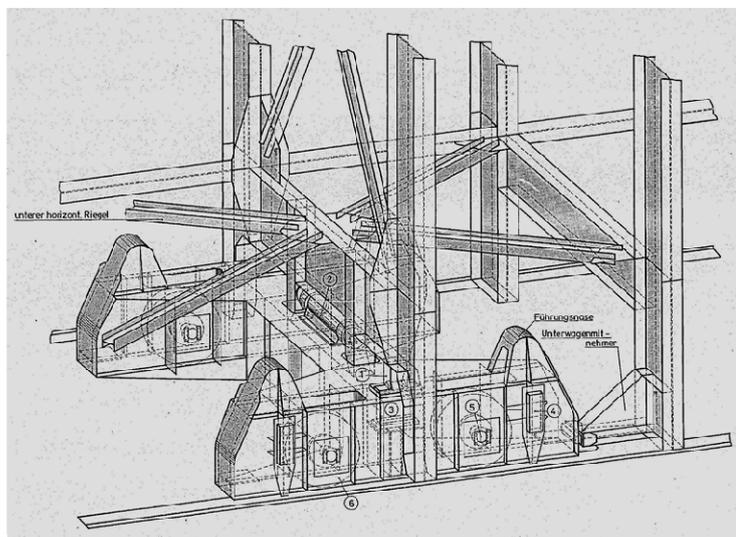
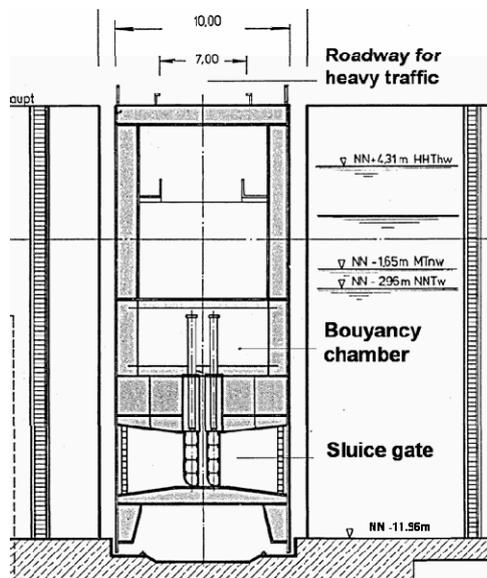
Vor einigen Jahren wurde von DEHOUSSE, N.M. (1985) ein Vorschlag für ein schwimmendes, durch Propeller angetriebenes Schleusentor gemacht. Dieses System könnte auch für die neue Schleuse in Emden zum Einsatz kommen, hier bedarf es allerdings noch eines erheblichen Untersuchungsaufwandes, da bisher ein solches System nicht in die Praxis umgesetzt wurde.

Beim Schleusenumbau verbieten sich seitliche Kanäle zum Füllen und Leeren der Schleusenammer, da dann der Betrieb der Schleuse aus Baufortschrittsgründen nicht mehr gewährleistet ist. Schütze in den Schleusentoren haben sich bereits mehrfach bewährt. Erfahrungsberichte von den Anlagen in Bremen / Oslebshau-

sen und Wilhelmshaven (PIANC 1985) geben wieder, dass bei geringeren Hubhöhen die Turbulenzen beherrscht werden können, wenn die Schütze mit wirksamen Energiedissipatoren ausgerüstet sind (Bild 12). In Emden beträgt die Hubhöhe zwischen MTnw und Hafenwasserstand etwa 3,50 m Selbst bei extremen Niedrigwasserständen steigt sie nicht über 5,00 m an. Die Anzahl und die Größe der Schütze werden noch in Modellversuchen zu untersuchen sein.

Für die spätere Detailplanung kann sicherlich auch auf die dann vorliegenden Erfahrungen zurückgegriffen werden, die nach der Fertigstellung der Kaiserschleuse in Bremerhaven mit einem in der Höhe geteilten Schiebetor gemacht werden. Der untere Abschnitt des Tores mit den Unterwagen verharrt auf dem Drempel, während der obere Teil um einige Dezimeter angehoben wird und somit einen Füllquerschnitt freigibt (TARRAS 2009). Nach dem Wasserstandsangleich wird der obere Teil abgesenkt und das Tor in die Torkammer verfahren.

Heute ist die Überfahrt des Straßenverkehrs über die Schleusentore für schwere Fahrzeuge nur im Katastrophenfall zugelassen (siehe 2.1). Für die Hafenwirtschaft in Emden gewinnt aber die Freizügigkeit des Straßenverkehrs über die Schleuse zunehmend an Wichtigkeit. Der Weg stellt die kürzeste Verbindung zwischen dem inneren und dem äußeren Hafenteil dar. Im Hafentwicklungskonzept von 2008 wurde daher bereits festgeschrieben, dass bei einem Schleusenumbau oder einer Erneuerung sichergestellt wird, dass auch schwere LKW die Schleuse ohne Behinderungen queren können. Eine Klappbrücke außerhalb der Häupter ist nur sehr schwer realisierbar wegen der mangelnden Entwicklungslänge. Innerhalb der Schleusenammer wäre die Beeinträchtigung der Schifffahrt sehr groß, aber auch dem Landverkehr würden lange Wartezeiten abverlangt. Somit verbleibt als sinnvolle Lösung die Ausrüstung der Schleusentore für den Straßenverkehr. Die erforderliche Bauhöhe der Tore aus konstruktiven und aus Gründen der Schwimmstabilität erfordert etwa 10,00 m. Diese Breite ist ausreichend um zwei Fahr-



**Bild 12:** Schleusentorkonstruktion; Torquerschnitt (links), Unterwagen (rechts)

bahnen und einen getrennten Überweg für Fußgänger und Radfahrer aufzunehmen. Im Gegensatz zu heute wird damit Begegnungsverkehr auf den Toren möglich. Allen beschriebenen Konstruktionen ist hinsichtlich der Unter- und Oberwagen gemeinsam, dass diese sehr sorgfältig geplant und ausgeführt werden müssen, um die Verkehrslasten aus dem Straßenverkehr aufzunehmen und sauber in den Unterbau der Schienen abzutragen.

Die Auffahrt auf das Schleusentor wird über eine Hubplattform geschehen, die die Torkammer überbrückt. Beim Verfahren des Tores ist diese Plattform so hoch anzuheben, dass das Tor mit seinen Aufbauten (Geländer, Leitplanken) darunter herfahren kann. In der Verschlussstellung ist die Plattform abgesenkt und ermöglicht die Auffahrt für Landfahrzeuge.

### **3. Bauausführung**

#### **3.1 Die Anforderungen durch den Hafenbetrieb**

Ein umfassender Umbau oder gar eine Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden kann erst dann umgesetzt werden, wenn die Nesserlander Schleuse nach ihrer Erneuerung wieder in Betrieb genommen wurde. Nur mit der Garantie, dass für Küstenmotorschiffen und Binnenschiffen die Zufahrt zum Hafen Emden gewährleistet ist, wird die Emdener Hafenwirtschaft einem Umbau der Großen Seeschleuse bedingungslos zustimmen. Ihr ist bewusst, dass nur mit dieser Schleuse der Hafen Emden und damit ihre Interessen erhalten werden können. Auch werden tausende von Sportbootfahrern ein großes Interesse daran haben, dass die Freizügigkeit der Schleusungen aus der Vergangenheit wieder herbeigeführt wird.

Die große Herausforderung für die Schleusenplanungsgruppe und den ausführenden Unternehmer ist der Anspruch nach der ständigen Betriebsbereitschaft durch die Hafenundernehmen. Der Großteil der Arbeiten wird durchzuführen sein, während Schiffe aller Größen durchgeschleust werden müssen. Der Wasserstand in der Schleuse wird einem stetigen Wechsel unterworfen sein. Bei Anbotsabgabe ist zu kalkulieren, dass sich der Wasserstand ständig, aber nicht kontinuierlich ändert. Gerüste sind kurzfristig für das zu schleusende Schiff zurückzubauen; der Arbeitsraum ist sehr knapp kalkuliert. Eine Vielzahl von Forderungen aus der Arbeitssicherheit ist einzuhalten.

Der Hafenbetrieb hat absoluten Vorrang. Daran muss sich die Bauleitung sowohl auf Seiten des Bauherrn wie auch beim Generalunternehmer orientieren. Einige Tage Stillstandszeit werden akzeptiert, wenn die vereinbarten Daten auch eingehalten werden. Ein einfacher Versager der Bauausführung mit verlängertem Stillstand kann katastrophale Folgen bis hin zum Niedergang eines Hafens haben.

#### **3.2 Zeitablauf**

In der Vergangenheit mit den Nutzern des Hafens Emden geführte Gespräche zeigten, dass eine Erneuerung der „Großen Seeschleuse“ mit den verschiedenen Einschränkungen bis hin zu langen Sperrzeiten im normalen Geschäftsbetrieb nicht akzeptiert werden kann. Allerdings muss den Nutzern vermittelt werden, dass etwas geschehen muss. Ansonsten steht nur das größte hafenbetriebliche Desaster für den Hafen Emden zur Diskussion. Nichts zu unternehmen hat zur

Folge, dass zunächst natürlich keine Kosten anfallen. Allerdings wird der totale Zusammenbruch des Systems damit noch eher herbeigeführt. Es dürften weniger als 20 Jahre vergehen, bis die Schleuse nicht mehr betriebsbereit sein wird und danach nur noch mit einem „sehr“ hohen Aufwand zu sanieren ist. Gleichzeitig bedeutet dieses aber auch den totalen Zusammenbruch des Hafens Emden, denn ohne große Schleuse zum Binnenhafen ist dort kein Umschlag mehr möglich. Der Zeitraum dieser Phase des „nichts geht mehr“ kann nicht abgeschätzt werden, da er sich zu sehr an weltwirtschaftlichen Kriterien messen lassen muss.

Zum einen sollte die Bauzeit so gering wie möglich gehalten werden, um die Störungen des Schleusen- und Hafenbetriebes auf ein Minimum zu begrenzen. Zum anderen aber erzeugt der darauf abgestellte Bauablauf sehr viele zusätzliche Abhängigkeiten; es kann z.B. nicht gleichzeitig an beiden Schleusenkommerseiten gearbeitet werden, da ein Anlegen der Schiffe für den Schleusungsgang möglich sein muss. Eine Sperrzeit der Schleuse zwischen drei und zehn Tagen dürfte von der Hafenwirtschaft akzeptiert werden, wenn diese rechtzeitig angemeldet wird und die Makler dann die Schiffe entsprechend in ihrer Position bzw. in ihren Liegeplätzen disponieren können. Für einen Zeitraum von bis zu vier Jahren in dem Störungen der unterschiedlichsten Art auftreten, werden die Schifffahrtstreibenden Verständnis aufwenden müssen.

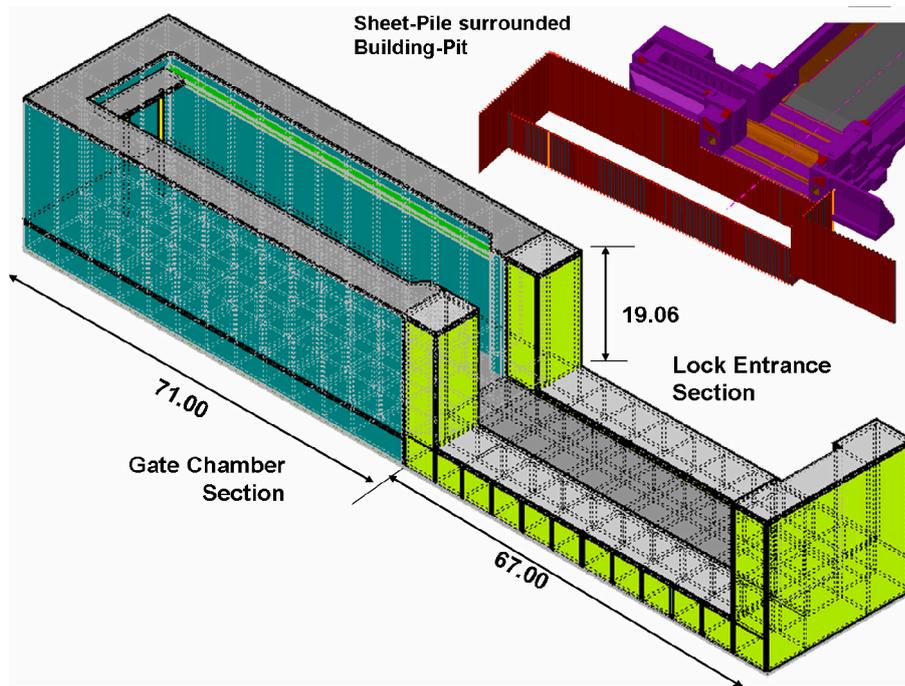
Der Landverkehr wird allerdings weit mehr gestört werden. Im Bereich der Schleusenhäupter wird es sich nicht vermeiden lassen, diese für die Überfahrt von Fahrzeugen abschnittsweise komplett zu sperren. Aus Gründen der Deichverteidigung wird allerdings immer über ein Haupt eine Überfahrt möglich sein müssen. Die Dauer der Schleusungsvorgänge wird sich sicherlich erhöhen und damit wird dann die Verbindung zwischen den Hafenteilen teilweise für längere Zeit (bis zu einer halben Stunde) gesperrt sein.

In der Summe dürfte die Konstruktionsphase (Massivbauarbeiten und Stahlwasserbau) etwa 3 Jahre in Anspruch nehmen. Ein weiteres Jahr ist anzusetzen für den Deichbau, den Straßenbau und Endausrüstung der Anlage mit Schifffahrtszeichen und ähnlichem.

#### **3.3 Die Herstellung der Schleusenhäupter**

Wie bereits oben beschrieben sollen die Schleusenhäupter schwimmfähig jeweils in zwei Teilen (Torkammer- und Durchfahrtelement) auf einem Ponton oder in einem Dock/Baugrube hergestellt werden (Bild 13). Ein großer Ponton wird bei genügendem zeitlichem Vorlauf verfügbar sein. Das gleiche gilt auch für ein Schwimm- oder Trockendock. Schwieriger wird es sein, einen günstigen Ort im Raum Emden zur Einrichtung einer Baugrube zur Herstellung der Elemente zu finden. Die vier Elemente sollten so weit wie möglich fertig gestellt sein, wenn der Einschwimmvorgang beginnt.

Parallel zum Bau der Elemente sind Baugruben vor den vorhandenen Schleusenhäuptern zu schaffen. Deren Oberkante sollte nur wenig tiefer sein als die heutige und künftige Drempelhöhe von NN -11,96 m. Die umschließenden Spundwände sind seitlich den künftigen Böschungen anzupassen. Der Aushub darf nicht zu früh begonnen werden, da es ansonsten zu erheblichen Ablagerungen von weichem Schlack kommen wird. Die nicht grundsätzlich vermeidbaren Eintragungen sind



**Bild 13:** Schwimmfähige Elemente für Torkammer und Durchfahrt, die in eine Baugrube eingeschwommen und abgesenkt werden (im Hintergrund)

unmittelbar vor dem Einschwimmen am besten durch den Einsatz großer Schlammumpfen zu beseitigen. Eine Lage von Schüttsteinen wird danach mit Taucherhilfe eingebaut, die als Basis für das abzusetzende Hauptelement dient.

Bei mittlerem Tideniedrigwasser beträgt die Wassertiefe vor der Schleuse etwa 10,00 m. Dieses ist bei der Trimmung der Elemente zu berücksichtigen, deren Tiefgang keinesfalls mehr als 9,00 m betragen sollte. Deshalb sind Torkammer und Durchfahrt mit Schotten zu versehen, die nach dem Absenken entfernt werden. Eine andere Möglichkeit den Tiefgang der Elemente zu begrenzen besteht in der Assistenz eines leistungsfähigen Schwimmkranes beim Absenkvorgang.

Nach dem Absenken sind die Zellen des Schwimmkörpers zur Garantie der Auftriebssicherheit mit Beton bzw. mit Sand zu füllen. Eine Pfahlgründung wird nicht notwendig, da die Oberkante des holozänen tragfähigen Sandes im Bereich der Schleuse sehr hoch ist. Um die Behinderungen für die Schifffahrt beim Absenkvorgang möglichst gering zu halten wird das Durchfahrtelement in die Torkammer eingeschwommen und danach längs verschoben zum endgültigen Einbauort. Beide Elemente werden nach dem Absenken über ein Kopftragwerk miteinander verbunden und endausgerüstet mit den Antrieben und den zugehörigen Laufschielen. Im letzten Schritt ist das ebenfalls schwimmfähige Schleusentor einzusetzen und in Betrieb zu nehmen.

Während der Arbeiten am Außenhaupt, die durch mehrere Sperrzeiten geprägt sein werden, sollten soweit möglich auch Arbeiten am Binnenhaupt durchgeführt werden, um die Gesamtzeit der Sperrungen zu verringern. Dieses sind im Wesentlichen das Einbringen der Spundwände und der Aushub der Baugrube. Nach Inbetriebnahme beider Schleusenhäupter sind die Ein-

laufkanäle außer Betrieb zu nehmen. Die alten Schleusen-kammerwände können dann zurückgebaut werden.

Offen bleibt bei der bisherigen Planung noch die Frage nach der Lage der Baustelleneinrichtung und dem Liegeplatz für die Pontons. Die Hafenverwaltung kann keinen Einfluss auf die im inneren Hafen vorhandene Werft nehmen und sie veranlassen, eines ihrer Docks zur Verfügung zu stellen. Ein hafeneigenes Areal wäre am westlichen Ende des Südkais in Schleusennähe für die Baustelle nutzbar. Da die im Hafen vorhandene Wassertiefe von etwa 13,00 m ausgenutzt werden soll, wird allerdings für den Absenkvorgang eines Pontons oder eines Schwimmdocks eine besonders tiefe „Dockgrube“ auszuheben sein. Das gilt auch für den Fall, dass die Schwimm-

elemente weit außerhalb Emdens hergestellt und mit einem Ponton oder einem Dockschiff nach Emden gebracht werden sollen.

### 3.4 Die Schleusen-kammerwände

Der Bauablauf für die Schleusen-kammerwände orientiert sich ganz wesentlich am jeweiligen Betriebszustand der Seeschleuse. Zum einen muss eine Schleusen-kammerwand immer für das Anlegen von Schiffen geeignet sein, zum anderen ist Füllen und Leeren der Schleusen-kammer durch das Einlaufsystem sicherzustellen. Dieses wird bei der Konstruktion der neuen Schleusen-kammerwände (Bild 14) berücksichtigt:

Die folgenden Schritte sind zwingend zu berücksichtigen:

- Zunächst wird einseitig eine alte Schleusen-kammerwand erdseitig hinter dem Längskanal geschlitzt. In den Schlitz wird ein Stahlbetonfertigteile eingesetzt. Zwei Pfahlreihen werden hergestellt und mit dem Wandelement zu einem Pfahlrost verbunden, auf das aufgehend, entweder in Ortbeton oder ebenfalls als Fertigteile der obere Abschnitt der Schleusen-kammerwand aufgesetzt wird. Die komplette neue Wand kann gebaut werden, bevor die alte Kammerwand abgetragen wird. Der Schiffsbetrieb findet auf der Gegenseite statt. Zu berücksichtigen ist die abschnittsweise Entwicklung der neuen Kammerwand. Es darf nicht unterstellt werden, dass der Schlitz über seine gesamte Länge von rd. 260 m standsicher bleibt. Vielmehr sollten Abschnitte von jeweils 25 bis 30 m fertig gestellt werden.

## 2. Innovationen bei Entwurf und Bau

### Feasibility Studie zur Erneuerung der „Großen Seeschleuse“ in Emden

- Nach Inbetriebnahme der neuen Schleusenhäupter wird einseitig die alte Kammerwand abgetragen, der Schiffsbetrieb wird dann auf diese Seite verlegt. Der Abtrag der Wand muss sehr sorgsam geschehen, damit keine großen Wandreste abstürzen und die Schifffahrt gefährden. Diese Schleusenkammerseite wird vor der Freigabe komplett mit Pollern, Fenderung usw. ausgerüstet.
- Schließlich müssen diese Schritte auf der anderen Kammerwandseite wiederholt werden. Eventuell können das Schlitzeln der alten Wand und der Einbau der neuen Wandelemente hier auch begrenzt unter „Betrieb“ stattfinden.
- Die Sohle der alten Schleusenkammer soll erhalten bleiben. Somit entstehen durch deren Anpassungen im Bereich der neuen Schleusenkammerwände (Abbruch vorhandene Wände) kaum Behinderungen.

Die Zeitdauer der Beeinträchtigungen im Schleusen-kammerbereich sollte gering gehalten werden. Daher wird erst dann mit dem Schlitzeln einer alten Wand begonnen werden, nachdem erkennbar ist, wann die Schleusenhäupter betriebsbereit sein werden. Die dann anzusetzende Bauzeit für die Schleusenkammerwände wird mit insgesamt 16 Monaten ausreichend sein.

#### 3.5 Schleusenausrüstung

Wenn die Konstruktionsphase mit 3 Jahren genannt wurde, so fällt in diesen Zeitabschnitt natürlich auch die Inbetriebnahme der neuen Schleusentore mit ihren Füllverschlüssen. Eine zentrale Steuerung der Schleuse wird allerdings dann noch nicht möglich, da im Umfeld der Schleusenhäupter noch intensiv gebaut werden muss (Kammerwände, Straßen, Flächenbefestigung u.ä.) und auf fliegende Kommunikations-, Steuerungs- und Versorgungsleitungen zum zentralen Betriebsgebäude verzichtet werden sollte. Die Schleusentore und die Füllverschlüsse sollten daher einige Monate direkt vor Ort bedient werden. Zusätzliches Schleusenpersonal wird deshalb notwendig werden. Die Antriebshäuser am Ende der Torkammern sind daher so auszurüsten, dass über eine sogenannte „Schleusensteckdose“ nach Installation des Steuerstandes für die neue Anlage im

Betriebsgebäude ein problemloses Umschalten möglich ist. In Zukunft sollen dann alle Anlagen im Hafen wie Schleusen, bewegliche Brücken und Pumpenhäuser zentral von der neuen Seeschleuse aus angesteuert und bedient werden.

In der Schleusenausrüstung enthalten sind neben den Schiebetoren und ihren Füllschützen auch das Fender und Pollersystem. Die Beleuchtung der Anlage und das Überwachungssystem mit Bewegungsmeldern, Kameras und Lautsprechern werden künftig ebenfalls zentral gesteuert. Sämtliche Betriebsabläufe im Schleusenalltag werden aufgezeichnet und können im Falle z.B. einer Havarie Auskunft über deren Entwicklung geben. Als sicherheitsrelevante Anlage im Hafen wird die Schleuse in das Hafensicherheitsystem eingebunden.

#### 3.6 Deichbau und Landverkehrsinfrastruktur

Der vorhandene Schleusendeich ist von NN +6,50 m um 1,60 m auf NN +8,10 m zu erhöhen. Die Deichneigungen sind dabei anzupassen, da sie für moderne Deichprofile zu steil sind. Die Basis des Deiches ist zur Schleusenkammerseite hin zu verbreitern. Dadurch können wertvolle Bäume in ihrem Bestand geschützt werden.

Der südliche Schleusendeich wird breiter auszuführen sein, da er die Umfahrungsstraße aufnehmen sollt. Die Bedeutung der Straße für den Hafenbetrieb wird künftig steigen, daher soll die Breite 8,50 m betragen. Neben den zwei Fahrspuren wird ein separater Fuß- und Radweg einseitig angelegt. Die etwa 75 m langen Rampen führen die Straße vom Hafengelände (NN +3,60 m) mit maximal 6% Neigung auf den Deich (NN +8,10 m). Die Radien der Straßenbögen sind mit 25 m vorgesehen, um auch dem 18 m langen Sattelschlepper die Auffahrt auf das Schleusentor zu ermöglichen.

Mit dem Straßenbau und der Flächenbefestigung im Bereich der Schleusenkammer sind dann die Bauarbeiten für die Erneuerung der „Großen Seeschleuse“ in Emden abgeschlossen.

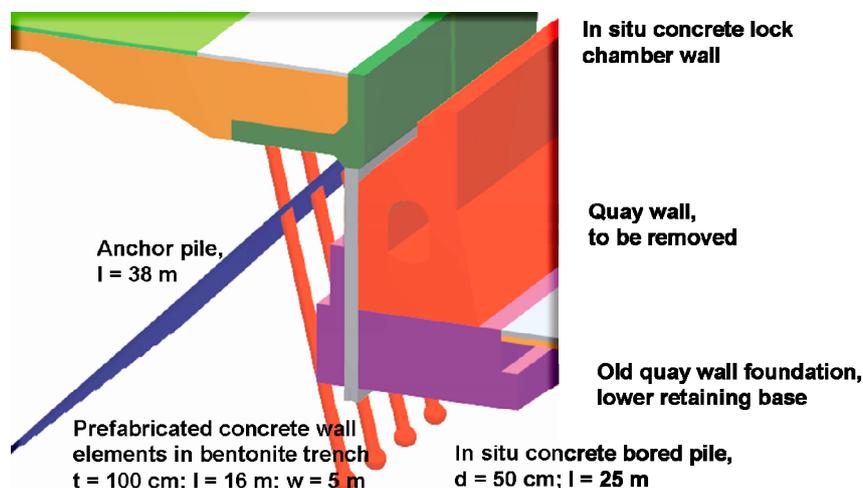


Bild 14: Detail der alten Schleusenkammerwand, durchdrungen von der neuen Wand

### **3.7 Voraussichtliche Kosten für die Erneuerung der Schleuse**

Eine Machbarkeitsstudie für eine große Seeschleuse sollte auch etwas zu den zu erwartenden Kosten aussagen.

Als Kosten für vier wesentliche Abschnitte sind zu nennen:

- Unter der Voraussetzung der Herstellung der vier Schwimmelemente in Emden kosten diese **160 Mio. €**
- Drei Schleusentore (inkl. Reservetor) mit einem Gewicht von je etwa 2.000 to **75 Mio. €**
- 600 m Schleusenammerwand abbrechen und erneuern; 100.000 €/m **60 Mio. €**
- 600 m Deichbau; 1.000 m zweispurige Straße **30 Mio. €**

Die Entwurfskosten betragen damit zwischen **300 und 350 Mio. €**. Mit diesem Ansatz kann die Hafenverwaltung in der mittelfristigen Finanzplanung den Entscheidungsträgern in Politik und Hafenwirtschaft ein Zeichen geben, das Geld im Zeitraum zwischen 2018 und 2025 zur Verfügung zu stellen. Die geschätzten Kosten scheinen nicht zu hoch zu sein, wenn vergleichsweise für die Erneuerung der Kaiserschleuse in Bremerhaven bei ähnlichen Abmessungen 230 Mio. € verbraucht werden und diese Schleuse ohne Berücksichtigung des Hafenbetriebes gebaut wird. Die Arbeiten für die Schleuse begannen im Jahre 2007.

### **4. Zusammenfassung**

Die "Große Seeschleuse" in Emden nahm ihren Betrieb im Jahre 1913 auf. Nach 100 Jahren Betriebszeit ist sie zwischen 2015 und 2025 neu zu planen und zu erneuern. Dabei muss ihre Funktionsfähigkeit mit mehr als 5.000 Schleusungen je Jahr über die gesamte Bauzeit aufrechterhalten werden. Nach Abschluss der Renovierung der kleineren Nesserlander Schleuse im Jahr 2012 sollten die Planungen für die Große Seeschleuse aufgenommen werden. So ist gewährleistet, dass die heute verantwortlichen Fachleute ihr Wissen und ihre Erfahrung aus 30 Jahren Schleusenbetrieb noch an die jüngeren Kollegen weitergeben können. Diese werden dann mit der Herausforderung, das Herz des Hafens Emden funktionsfähig zu erhalten, konfrontiert. Ohne betriebsbereite „Große Seeschleuse“ über einen Zeitraum von mehreren Wochen erleidet der Hafen einen großen Schaden. Bei einem Ausfall über mehrere Monate wird der Hafen Emden seine internationale Bedeutung für die Schifffahrt und insbesondere für die Versorgung der sich jetzt stark entwickelnden Offshore Windkraftindustrie verloren haben.

Die Detailplanung mit allen notwendigen Untersuchungen, beginnend bei der Umweltverträglichkeitsprüfung und endend bei vielen stark modifizierten Studien wie Setzungsuntersuchungen oder Strömungsmodellierung in den Füllschützen muss in den nächsten Jahren beginnen. Eine Machbarkeitsuntersuchung gibt erste Antworten, wie eine große Schleuse für die Seeschiff-

fahrt erneuert werden kann, ohne dass diese zu sehr behindert wird. Wie können die Schleusenhäupter, wie die Schleusentore und wie die Schleusenammerwände unter diesen Voraussetzungen gestaltet und gebaut werden?

Die verantwortlichen Politiker und die Entscheidungsträger in den Ministerien müssen gut unterrichtet werden, um zu verstehen, dass die Erneuerung der "Großen Seeschleuse" in Emden mit sehr hohen Investitionskosten zwischen 300 und 350 Mio. € verbunden ist. Diese sind darin begründet, dass die Schleusenanlage nicht auf der grünen Wiese sondern in einem sehr geschäftigen Hafen und dann auch noch unter Hafenbetrieb und Schiffsverkehr gebaut werden muss. Die Realisierung wird einen Zeitraum von etwa vier Jahren erfordern und sollte bis 2025 abgeschlossen sein.

### **Literatur**

Clasmeier, H.-D. (1985). Neubau eines Schiebetores für die Große Seeschleuse in Emden, HANSA Heft Nr.5, Hamburg

Clasmeier, H.-D. et al. (1987). The Dollard-Dock Project, PIANC Bulletin Nr. 59, Brussels

Clasmeier, H.-D. (2008). The Renovation of the old Nesserland Sea-Lock at Emden Port, ICCE 2008, Hamburg

Dehousse, N.M. (1985). Les Ecluses de Navigation, L.H.C.H. Université de Liège

Hübner, H.J. (1991). Die Grundinstandsetzung der Großen Seeschleuse in Emden, Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft; HTG Bd.46, Hamburg/Berlin

PIANC (1986). Final Report of the International Commission for the Study of Locks, PIANC, Brussels

PIANC (2009). Report No.106, Innovations in Navigation Lock Design, PIANC, Brussels

Tarras, Ch. (2009). Neubau der Kaiserschleuse in Bremerhaven, PIANC Kolloquium 2009, Bonn, Germany

Zander, W. (1914). Erweiterung des Emdener Hafens, Zeitschrift für Bauwesen, 64. Jahrgang, Heft 10 to 12, Berlin

### **Verfasser**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Clasmeier  
Niedersachsen Ports GmbH & Co.KG,  
Niederlassung Emden  
Friedrich-Naumann-Str. 7, 26725 Emden  
Telefon: 04921/897-132  
E-Mail: hclasmeier@nports.de